

1 Enríquez, S. & Goyes, V.- Evaluación de la emisión de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> producto del cambio de uso.

## **Evaluación de la emisión de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> producto del cambio de uso forestal a agrícola**

Evaluation of the emission of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> product of the change of forest to agricultural use

Sandra Milena Enríquez D.<sup>1</sup>; Viviana Elizabeth Goyes M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante Ingeniería Ambiental, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia, sanmil213089@gmail.com

<sup>2</sup>Estudiante Ingeniería Ambiental, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia, viviana.goyes04@hotmail.com

---

### **RESUMEN**

El objetivo del presente estudio fue evaluar la emisión de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> en un uso agrícola y forestal en función de la variación de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas, dentro de un periodo de muestreo de seis meses, llevada a cabo en la granja experimental Botana de la Universidad de Nariño en la vereda Catambuco, región en la cual es común la pérdida de cobertura boscosa por deforestación a favor de actividades agrícolas sin tener en cuenta la vocación natural del suelo. Se desarrolló un análisis de las propiedades físicas y químicas consideradas más relevantes: textura, densidad aparente y real, porosidad, humedad gravimétrica, retención hídrica, pH, materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO), capacidad de intercambio catiónico (CIC), la identificación taxonómica de las especies bacterianas presentes y la cuantificación de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> mediante cámaras fijas y análisis cromatográfico; donde se aplicó una comparación de medias independientes y por medio de una prueba T-student se determinó que los datos muestran una diferencia significativa entre las variables de un uso y otro, demostrando cómo la alteración de las características naturales del suelo lleva a la determinación de la función del suelo como sumidero o emisor de gases de efecto invernadero, permitiendo afirmar, que el suelo agrícola emite en promedio mayor cantidad de GEI (0,135 Kg.ha.día CH<sub>4</sub>, 42Kg.ha.día de CO<sub>2</sub>) en comparación a uso forestal (0,08Kg.ha.día CH<sub>4</sub>, 18,5Kg.ha.día de CO<sub>2</sub>) el cual funciona como sumidero de este tipo de gases por las propiedades naturales intactas con las que cuenta.

**Palabras clave:** Alteración, variables, físicas, químicas, microbiológicas, GEI.

### **ABSTRACT**

The objective of the present study was to evaluate the emission of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> in an agricultural and forestry use depending on the variation of the physical, chemical and microbiological properties, within a sampling period of six months, carried out in the experimental farm Botana from the University of Nariño in the village of Catambuco, a region in which the loss of forest cover due to deforestation is common in favor of agricultural activities without taking into account the natural vocation of the soil. An analysis of the physical and chemical properties considered most relevant was developed: texture, apparent and real density, porosity, gravimetric humidity, water retention, pH, organic matter (OM), organic carbon (CO), cation exchange capacity (CIC) , the taxonomic identification of the bacterial species present and the quantification of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> by fixed cameras and chromatographic analysis; where a comparison of independent means was applied and by means of a T-student test it was determined that the data show a significant difference between the variables of one use and another, demonstrating how the alteration of the natural characteristics of the soil leads to the determination of the function of the soil as a sink or emitter of greenhouse gases, making it possible to affirm that agricultural land emits on average a greater amount of GHG (0.135Kg.ha.day CH<sub>4</sub>, 42Kg.ha.day of CO<sub>2</sub>) compared to forest use (0.08Kg.ha.day CH<sub>4</sub>, 18,5Kg.ha.day of CO<sub>2</sub>) which works as a sink for this type of gases due to its intact natural properties.

**Key words:** Alteration, variables, physical, chemical, microbiological, GHG.

## INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre el cambio de cobertura y uso del suelo proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación y pérdida de biodiversidad de una región determinada (Berlanga *et al.*, 2010). Lo cual es importante, dado que en las últimas décadas las actividades humanas se han convertido en el principal desencadenador de la transformación de los ecosistemas, por ejemplo, se estima que la pérdida de bosques desde los albores de la humanidad al presente va de un tercio a casi la mitad de la superficie total original (Hernández *et al.*, 2016). Entre las consecuencias más obvias se destaca la pérdida del potencial de uso de los múltiples bienes y servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas para el bienestar humano, el calentamiento global, la alteración de los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos (Lambin y Geits, 2007; Berberoglu y Akin, 2009).

Estos procesos, usualmente englobados en lo que se conoce como deforestación o degradación forestal, se asocian a impactos ecológicos importantes en prácticamente todas las escalas. Localmente inducen la pérdida y degradación de suelos, debido a que el manejo inadecuado de los suelos, ha originado el cambio y deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo (Méndez *et al.*, 2005). Entre los procesos físicos que causan el deterioro del suelo se encuentra la pérdida de la estructura, derivada del excesivo laboreo del suelo y el tránsito de maquinaria.

El excesivo laboreo del suelo causa la destrucción de los agregados, a la vez que incrementa la aireación y con ello la descomposición de la materia orgánica (MO) por la actividad microbiana del suelo, lo que además disminuye la estabilidad y la resistencia de los agregados a las fuerzas externas (Wilding & Oleschko 1994). El resultado final de la destrucción de la estructura del suelo por el excesivo laboreo, conjuntamente con el tránsito de la maquinaria, es la compactación de los horizontes superficiales del suelo, así como la formación de capas compactadas o pisos de arado (Botta *et al.*, 2003).

Regionalmente la degradación forestal afecta el funcionamiento de cuencas hidrográficas y de asentamientos humanos y a nivel global, coadyuvan a las emisiones de gases de efecto

invernadero que dan por resultado el problema del cambio climático global (Bocco *et al.*, 2001). Hernández (2014) afirma que la agricultura ha sido una de las principales fuentes de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera; aunque habitualmente se asigna a la agricultura un 14% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero, si se tiene en cuenta los cambios de uso del suelo para aumentar la superficie agraria estas emisiones pueden superar el 30% de las totales (Bermejo, 2010; IDEAM, 2013).

Es importante resaltar que la atmósfera al igual que el suelo, es esencial para la vida, por lo que sus alteraciones tienen una gran repercusión en los seres vivos y en general, en todo el planeta, sin embargo, en las últimas décadas, su deterioro ha ido incrementando de manera significativa, las concentraciones de gases como por ejemplo, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>), en la atmósfera han aumentado de forma relevante, debido a la actividad antrópica (IDEAM, 2013).

Es por ello que se ha planteado para esta investigación, realizar un estudio por medio de cámaras fijas y cromatografía; con el objetivo de evaluar la emisión de metano y dióxido de carbono ocasionada por el cambio de uso de suelo forestal a agrícola y a partir de una serie de muestreos in situ analizar cómo la modificación de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas coadyuvan a la emisión de los mencionados gases de efecto invernadero.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

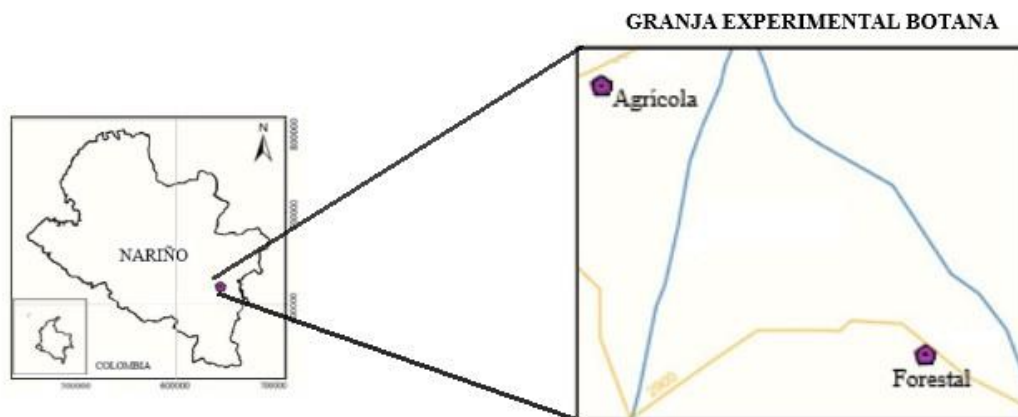
### **Descripción del sitio de estudio**

El estudio se realizó en la granja experimental Botana de la Universidad de Nariño que se encuentra ubicada a 9 Km de la ciudad de San Juan de Pasto, en el corregimiento de Catambuco, vereda Botana; con una extensión de 140 hectáreas, ubicada a una altura de 2820 msnm y una temperatura promedio de 12°C, con precipitación anual de 967 mm, localizada al occidente del meridiano de Greenwich a 1°09'30.62''LN, 77°16'31.81''LO. La investigación fue aplicada en dos tipos de uso de suelo en la mencionada granja (Figura 1), el primero corresponde a un suelo de vocación forestal que ha sido poco intervenido y pertenece a la clase siete (7) de la clasificación del IGAC (2014), la cual hace referencia a

las tierras que presentan aptitud forestal con una pendiente entre el 50% y 70%, que corresponde a las características del punto de la toma de muestras de este suelo, en el cuál se alcanza una pendiente del 50%.

El segundo suelo como objeto de estudio es un suelo de uso agrícola que se encuentra en una pendiente entre 3 y 7% (Hernández *et al*, 2016), el cual ha sido demasiado intervenido por aproximadamente 10 años; siendo utilizado para distintos tipos de forrajes, avena y actualmente su uso es para cultivo de papa. Por lo tanto, ha sido sometido a técnicas de encalado el cual consiste en incorporar al suelo calcio y magnesio para neutralizar la acidez del mismo (Adams, 1978).

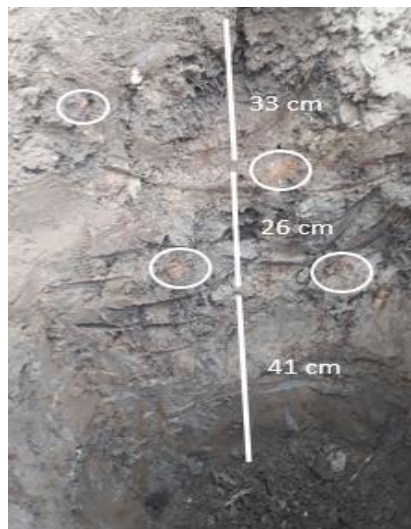
De igual forma, se ha visto sometido a procesos fertilización, la cual se ha realizado a través de heces proveniente de cuyes que se encuentran en la granja, además de ser arado y rastrillado para preparar el terreno en varias ocasiones; por sus características se concluye que éste suelo pertenece a la clase 3, la cual agrupa tierras que pueden ser utilizadas para la agricultura con prácticas moderadas de conservación y ganadería intensiva con pastos de alto rendimiento, (Patiño, 2016) esta clase de suelo se puede encontrar en una pendiente entre el 0 y 12 %.



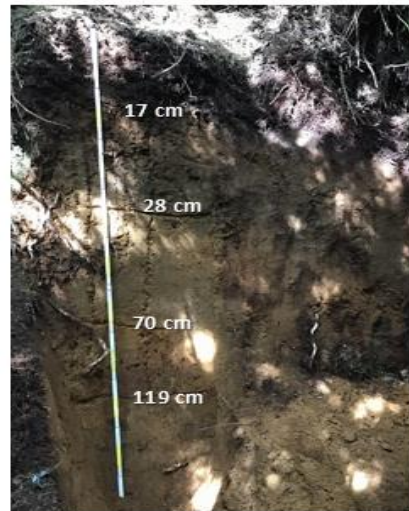
**Figura 1.** Distribución espacial de los sitios de muestreo en el uso forestal y el agrícola dentro de la Granja experimental Botana, Universidad de Nariño.

El suelo de uso agrícola se encuentra a una altura de 2820 msnm con coordenadas: N 1° 9'32.43" - O 77°16'33.02", a un metro de profundidad se identificaron tres horizontes de diferentes tamaños, el uno de 33cm, el otro de 26cm, y el tercero de 41cm, dichos horizontes varían de un color 2.5Y6/2 a un 7.5YR5/1 (Gris 9 pardo claro a Gris) el perfil del suelo de uso agrícola presenta moteados naranja que indican posiblemente presencia de hierro, su textura cambia de franco arcilloso a arcilloso y su estructura es laminar (Figura 2).

El suelo de uso forestal está a una altura de: 2901 msnm, con coordenadas: N 1,153153 O - 77.276210, la vegetación corresponde a un bosque seco montano, el suelo es de un origen volcánico; en este perfil se denotaron 4 horizontes de diferentes tamaños (17, 28, 70 y 119 cm) con características de color que variaron de un rango de pardo muy oscuro a pardo amarillento oscuro (7,5 YR 2,5/2 a 10 YR 3/6 ), la textura al tacto es franco a franco limoso en la profundidad y con una estructura de bloques sub-angulares a angulares (Figura 3).



**Figura 2.** Horizontes del suelo agrícola.

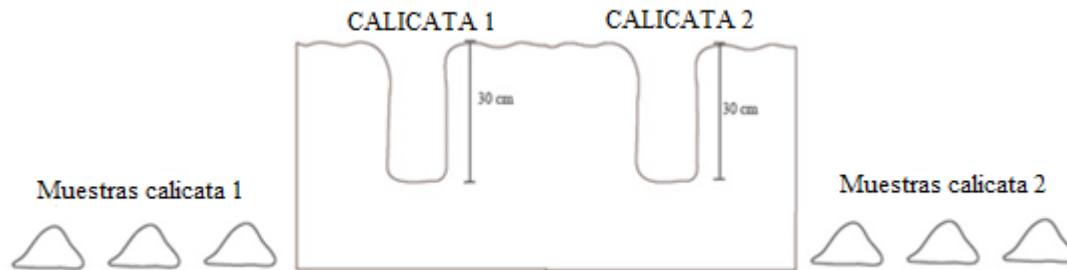


**Figura 3.** Horizontes del suelo forestal.

### Propiedades físicas, químicas y microbiológicas

Se implementaron dos alicatas en cada uso de suelo, de 30cm de profundidad cada una; tomando tres repeticiones de cada apertura (Figura 4) para un total de seis muestras por

cada uso y 12 en total, este tipo de muestreo se realizó una vez en todo el estudio el mismo día para evitar las alteraciones por variables temporales.



**Figura 4.** Toma de muestras para el análisis de las propiedades de los dos usos de suelo.

Dentro del análisis de las diferentes propiedades físicas, se emplearon distintos métodos; para el cálculo de la densidad real se tuvo en cuenta el método del picnómetro y para la densidad aparente el método tradicional de la probeta. Por otro lado, para determinar el porcentaje de humedad, se recurrió al método gravimétrico, que relacionó el peso de la muestra en seco y en húmedo; la textura fue establecida a través del triángulo de clases texturales después de concluir la distribución del tamaño de las partículas del suelo por medio de la metodología del hidrómetro (Acosta *et al.*, 2007). Para establecer la curva de retención hidráulica (curva pF) se calculó el valor de macroporos, mesoporos y microporos a través de la mesa de tensión de los cuales se obtuvieron los porcentajes en volumen de retención hídrica y se calculó los poros de drenaje rápido (PDR), poros de drenaje lento (PDL), poros de agua útil (PAU), poros de agua inútil (PAI).

Para el análisis de los parámetros de las propiedades químicas se calculó el porcentaje del carbono orgánico por medio del método de vía húmeda (Walkley y Black, 1934) y este resultado se lo multiplicó por el factor de Van Bemmelen para obtener el porcentaje de materia orgánica (MO); De igual forma, a través de la técnica del Acetato de amonio 1N pH7 y cuantificación volumétrica se determinó la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y se recurrió al método del potenciómetro en relación suelo: agua (1:1) para establecer el



pH, para ello se tomó como referencia el libro publicado por Zapata (2002), en donde expone métodos para la determinación de estos parámetros.

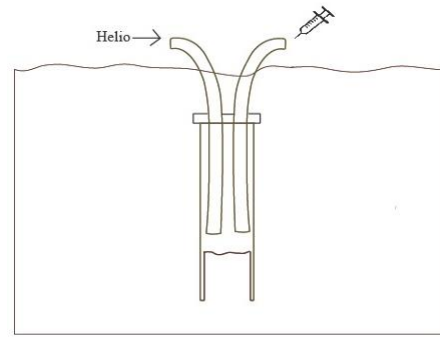
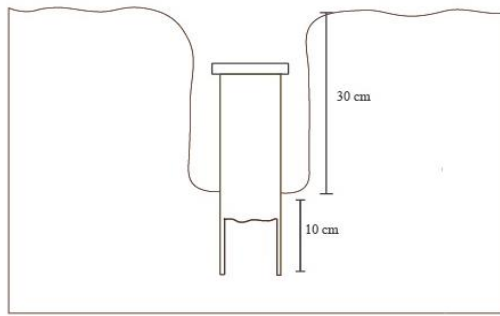
En el análisis microbiológico las 12 muestras en estado sólido fueron sometidas a una serie de diluciones mediante las siguientes concentraciones:  $1 \times 10^{-1}$ ,  $1 \times 10^{-3}$  y  $1 \times 10^{-5}$ ; de esta manera se logró obtener 36 muestras en estado líquido, que fueron usadas de extracto para ser sembradas por el método de rayado. Una vez los microorganismos se desarrollaron, se procedió a extraer las colonias formadoras a través del método de purificación, separándolas en nuevas cajas Petri y dejándolas en incubación durante 24 horas (Pérez & Paúl, 2017).

Con el fin de realizar la clasificación taxonómica de los microorganismo presentes en las colonias formadoras, se procedió a determinar las características morfológicas y formadoras de las bacterias juzgado bajo el microscopio, además se expusieron las muestras a diferentes medios como: Sulfuro Intol Motilidad (SIM), Agar de hierro y lisina (LIA), Citrato de Simmons (CS), Rojo de Mertilo y Voges Proskauer (MR-VP) y Urea, Agar de hierro y triple azúcar TSI; verificando las reacciones bioquímicas de las muestras y obtener los resultados finales de las especies bacterianas presentes (Hernández & Puentes, 2017)

### **Cuantificación de gases emitidos**

El muestreo de gases se realizó por un periodo de 6 meses en los cuales se registró una muestra cada dos meses con 3 repeticiones en cada gas para un total de 18 muestras de gases. La captura de los gases fue realizada en base a la metodología aplicada por Muñoz *et al.* (2011) donde se introdujo una cámara fija hecha de PVC que constaba de dos orificios en la parte superior cada uno conectado a una manguera, ésta se instaló en cada uso de suelo a 30cm de la superficie por 24 horas (Figura 5); posteriormente se utilizó helio como gas extractor, insertándolo por una de las mangueras logrando así expulsar los gases atrapados por la otra manguera, los cuáles fueron extraídos con una jeringa SGE 10MDR – HSV (Figura 6) para después ser llevados al laboratorio para el correspondiente análisis cromatográfico (Cromatógrafo de Gases Shimadzu GC-17<sup>a</sup> Detector FID a 240°C).





**Figura 5.** Implementación de la cámara fija. **Figura 6.** Extracción de las muestras de gas.

### Análisis Estadístico

Se realizó a través del software IBM SPSS STATISTIC 23. En donde se aplicó una comparación de medias independientes, verificando primero la normalidad de los valores con el método de Shapiro-Wilk, para luego proceder a aplicar una prueba T-student evaluando la homocedasticidad al realizar el análisis de varianzas con una prueba de Levene y así comprobar la significancia de los resultados entre un uso y otro (Montgomery, 2017).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis estadístico

Teniendo en cuenta los criterios de evaluación de la normalidad se pudo comprobar que los datos se comportaron con normalidad dando paso a aplicar la prueba T-Student, donde se verificó la igualdad de varianzas, ya que en la prueba se obtuvieron valores mayores a 0,05 por lo cual se asumió varianzas iguales permitiendo evaluar la significancia que resultó con valores de  $p < 0,05$  siendo indicador de que entre los resultados de todos los parámetros de un uso y otro existe diferencia significativa.

### Propiedades químicas

**Tabla 1.** Resultados del análisis de las propiedades químicas de los dos usos de suelo.

Uso		pH	%M.O	%C.O	CIC mgq/100g	t-Test
Forestal	Muestra 1 (A1)	5,10	9,95	5,8	39,08	A1 - A2 = sd; A1 - B1 =*
	Muestra 2 (A2)	5,37	11,5	6,7	33,56	A1 - A2 = sd; A2 - B2 =*
	Promedio (A)	5,235	10,7	6,23	36,32	A-B = *
Agrícola	Muestra 1 (B1)	7,3	4,3	2,5	24,63	B1 - B2 = sd; A1 - B1 =*
	Muestra 2 (B2)	7,4	4,2	2,4	16,42	B1 - B2 = sd; A2 - B2 =*
	Promedio (B)	7,34	4,3	2,495	20,52	A-B = *

\*(p < 0,05); sd, sin diferencia (p>0,05); Error estándar ± 0,45

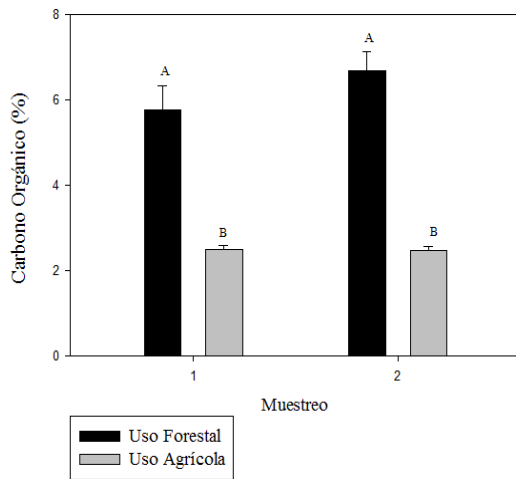
En general, los usos con coberturas sin alteración tienden a mostrar un valor de pH (Figura 10) ligeramente más elevado que las coberturas más antropizadas (Sparks 2003), sin embargo en el uso forestal se evidenció un pH que oscila entre un promedio de 5.3 a 5.5 siendo suelos bastante ácidos con valores más bajos en comparación al de uso agrícola que fueron en promedio 7.34 siendo un pH más neutro, esto puede aludirse a que al estar el suelo de uso forestal ubicado en una pendiente fuerte (< 50%) tiende a verse afectado por el fenómeno de lavado de bases teniendo en cuenta los constantes episodios pluviométricos en la zona, en comparación a la baja pendiente (3 y 7%) del uso agrícola que tiende a recibir este tipo de materiales en sus primeros horizontes (Porta *et al.*, 2003).

También es válido afirmar que el proceso de encalado que durante años se implementa en el uso agrícola con el fin de neutralizar la acidez del mismo es la principal causa de los valores de pH obtenidos. Además, se puede relacionar con los valores más bajos de MO (Figura 9) que este suelo posee en comparación al uso forestal, siendo en promedio de 4,3 % a causa de que este uso es carente de vegetación en sus primeros horizontes, de igual forma este porcentaje es un valor admisible a razón de la fertilización constante con heces

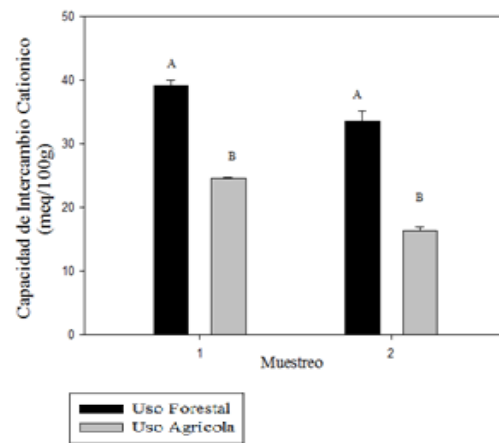
de cuyes al que ha sido expuesto y a su textura franco arcillosa, ya que afirma Romanyá *et al.* (2007) las arcillas y materiales finos del suelo protegen la MO.

La variación del contenido de C orgánico (Figura 7), del suelo muestra una disminución muy importante entre todas las muestras de usos agrícolas analizados en comparación con las de uso forestal revelando valores promedio de 6,23% y 2,49%. Los niveles de C orgánico en el suelo superficial son un buen indicador de fertilidad, y además da una idea de su estabilidad frente a procesos erosivos y de compactación (Rovira y Vallejo, 2003); En consecuencia, al encontrarse altas cantidades de carbono orgánico y MO en el uso forestal, de acuerdo con los criterios de Velásquez, (2005). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) también se va a comportar de la misma forma expresándose en un valor promedio de 36,32meq/100g, a diferencia de los datos obtenidos en el suelo agrícola mostrando que el cambio de uso y la sobreexplotación del mismo ha afectado negativamente todas sus propiedades químicas reduciéndolas hasta en un 50%.

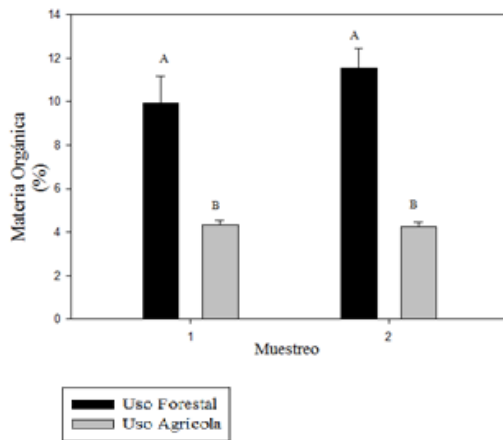
Se puede notar también una disminución de la CIC (Figura 8) bajo las coberturas más antropizadas a pesar del incremento del valor del pH, lo que normalmente no se esperaría (Sparks, 2003), pero que se explicaría al considerar horizontes subsuperficiales en donde se observa la disminución de la MO mayormente responsable de la CIC en este tipo de suelos, este efecto puede ser atribuido al aumento de la actividad de la MO que se libera de los complejos órgano-metálicos, pero que también se vuelve más susceptible a su descomposición y pérdida a largo plazo (Hofstede *et al.* 2002).



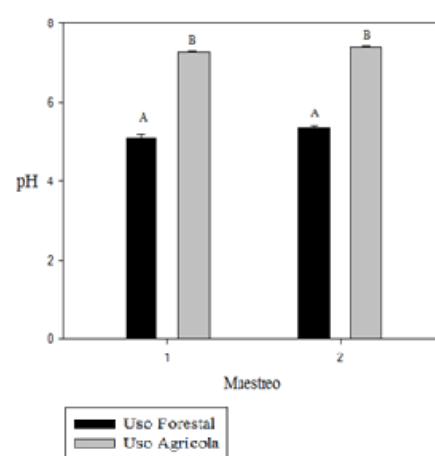
**Figura 7.** Gráfica de resultados del CO.



**Figura 8.** Gráfica de resultados de la C.I.C.



**Figura 9.** Gráfica de resultados de la MO.



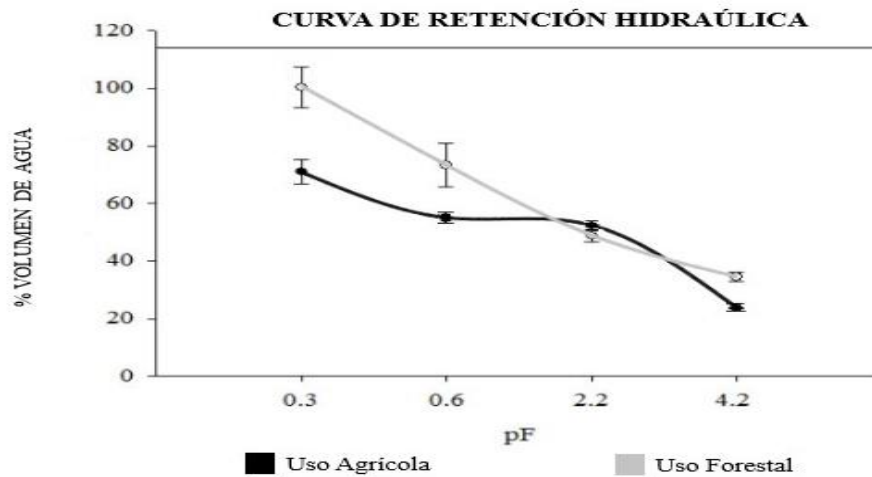
**Figura 10.** Gráfica de resultados pH.

En comparación con los resultados del uso forestal, registrando en promedio un valor porcentual de 10,74% de MO que se atañe a la gran cantidad de material orgánico disponible comprendido por una capa espesa de hojarasca en los primeros horizontes; a pesar de que la altura en la que se encuentra este uso (< 2901 msnm) y sus condiciones de bajas temperaturas pueden generar la acumulación de la MO y disminuir la tasa de degradación de la misma siendo causantes de los altos valores de MO acumulada y pH ácido en consecuencia (Chimner y Karberg, 2008).

### **Propiedades físicas**

Como resultado del análisis de las muestras de los dos usos de suelo que se representan en la Tabla 3, se encontró que el forestal presenta una textura franco arenosa y el agrícola una franco arcillosa (Tabla 4); Ibañez (2006) explica que en terrenos sin cultivar, poco alterados y con vegetación natural, lo más frecuente es encontrar suelos con horizontes arenosos y ricos en materia orgánica (MO), lo que favorece a que los valores obtenidos en este parámetro hayan sido mayores en el suelo de uso forestal con un porcentaje de MO de 10,7%, favoreciendo a que el agua se acumule en mayor cantidad en el suelo forestal dada la capacidad hídrica de absorción que posee la MO, aumentando de esta manera el valor de humedad gravimétrica del uso forestal (12,3%) en comparación al uso agrícola (7,7%), obteniéndose de igual forma un porcentaje de porosidad mayor en este uso con un 70% también en consecuencia de su textura, en comparación con el suelo agrícola en el cual se presentó un porcentaje de 64%.

El análisis de la capacidad de conductividad hidráulica representada en la curva de retención de agua (Figura 15) muestra directamente la cantidad de poros capaces de almacenar agua siendo un referente que da la posibilidad de entender la estructura por la que está conformado cada uno de los usos (Dec *et al.*, 2008; Dörner y Horn, 2015 ); en dónde se denota la diferencia entre un uso y otro siendo afectados principalmente los poros más gruesos o estructurales que regulan la capacidad de transportar agua y/o aire. Por lo que se evidencia una gran diferencia en los valores de macroporos expresados en los poros de drenaje rápido (pF 0,3) dentro de la curva de retención hídrica variando en un porcentaje en volumen de un 100% y 71% entre los suelos de uso forestal y agrícola.



**Figura 15.** Curva de retención hidráulica.

Kutílek *et al.* (2006) señalan que sólo los poros estructurales (macroporos) pueden ser compactados, mientras que los texturales (microporos) tienden a mantenerse inalterados; en base a lo anterior es válido afirmar que el sobre laboreo y el constante estrés mecánico al que el uso de suelo agrícola ha sido expuesto, provoca no sólo la compactación de éste y la formación de una estructura laminar nociva para el desarrollo vegetal, disminuyendo la cantidad de macroporos de 17,3 a 9,4% (Tabla 2) del uso forestal al agrícola; sino que también producto de la compactación se inducen cambios en la geometría del sistema poroso lo que finalmente reduce la permeabilidad generando vías preferenciales para el flujo de agua y/o aire (Hartge y Horn, 2009); Afectando la distribución de los poros y su funcionalidad.

**Tabla 2.** Resultados del tamaño de los poros del suelo.

Uso		Macroporos (%)	Mesoporos (%)	Microporos (%)	t-Test
<b>Forestal</b>	Muestra 1 (A1)	18,2	26,7	24,3	A1 - A2 = sd; A1 - B1 =*
	Muestra 2 (A2)	16,5	28,2	34,6	A1 - A2 = sd; A2 - B2 =*
	Promedio (A)	17,35	27.45 **	29,5	AB = * ** = sd
<b>Agrícola</b>	Muestra 1 (B1)	10,6	23,6	38,2	B1 - B2 = sd; A1 - B1 =*
	Muestra 2 (B2)	8,2	21,7	45,6	B1 - B2 = sd; A2 - B2 =*
	Promedio (A)	9,4	22,65 **	42,35	AB = * ** = sd

\*(p &lt; 0,05); sd,) sin diferencia (p&gt;0,05)

**Tabla 3.** Resultados de las propiedades físicas de los dos usos de suelo

Uso		Humedad Gravimétrica (%)	Densidad Aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Real (g/ml)	Porosidad (%)	t-Test
<b>Forestal</b>	Muestra 1 (A1)	15,3	0,7	2,4	69,5	A1 - A2= sd; A1 - B1 =*
	Muestra 2 (A2)	12,3	0,7	2,4	71,8	A1 - A2 = sd;A2 - B2 =*
	Promedio (A)	13,8	0,7	2,4	70	AB = *
<b>Agrícola</b>	Muestra 1 (B1)	8,2	0,9	2,5	63	B1 - B2=sd; A1 - B1 =*
	Muestra 2 (B2)	7,8	0,8	2,5	66,4	B1 - B2=sd; A2 - B2 =*
	Promedio (A)	8	0,9	2,4	64	AB = *

\*(p &lt; 0,05); sd, sin diferencia (p&gt;0,05); Error estándar ± 0,45

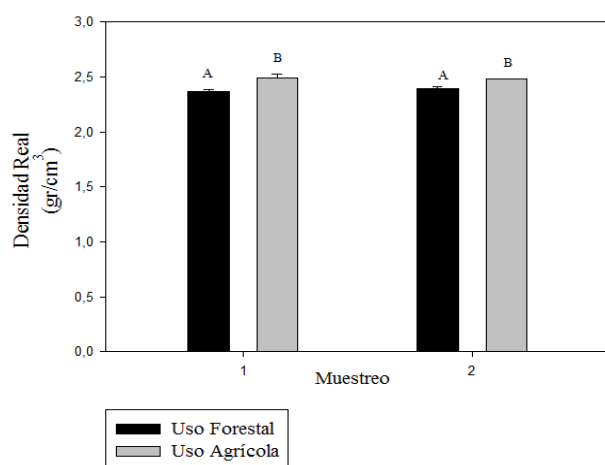
**Tabla 4.** Resultados de la textura de los usos de suelo

Uso		% Arena	% Limo	% Arcilla	Textura
Forestal	Muestra 1	72,09	20,71	7,18	Franco arenoso
	Muestra 2	77,39	16,10	6,49	Franco arenoso
Agrícola	Muestra 1	34,56	27,83	37,60	Franco arcilloso
	Muestra 2	42,03	22,21	35,75	Franco arcilloso

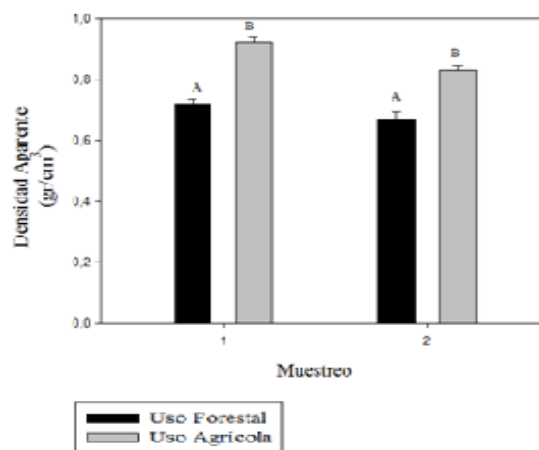
Se ha demostrado que el cambio de uso de un suelo produce alteraciones en la estructura de los suelos de bosques (Dec *et al.*, 2008), especialmente cuando el uso es menos intensivo y pasa a un uso intensivo evidenciándose en los resultados que muestran el incremento en la densidad aparente del uso agrícola al forestal que va de 0,72 gr/cm<sup>3</sup> a 0,92 gr/cm<sup>3</sup>



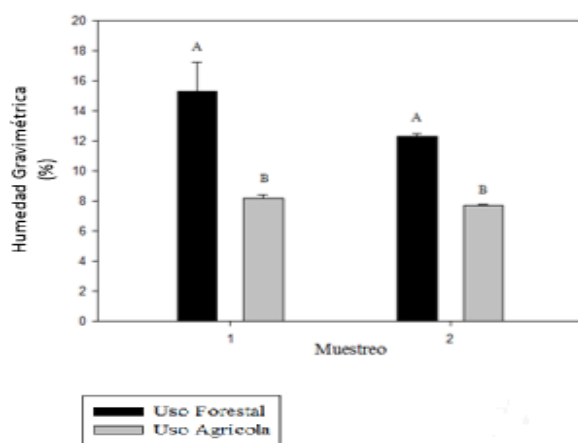
representado en la Figura 11 y 12, la disminución de la porosidad (de 70 a 64%) (Figura 14). El comportamiento de los suelos derivados de cenizas volcánicas parece ser particular, ya que generalmente el incremento de la densidad aparente de un suelo con altos contenidos de arcilla, conduce a una reducción de la capacidad de almacenamiento de agua (Dörner y Horn, 2015), lo que se puede verificar con la disminución en la humedad gravimétrica en el uso agrícola y los poros de drenaje lento (pF 0,6) con un porcentaje volumen de retención de agua de 55% para el uso agrícola y 77% en el uso forestal (Figura 13).



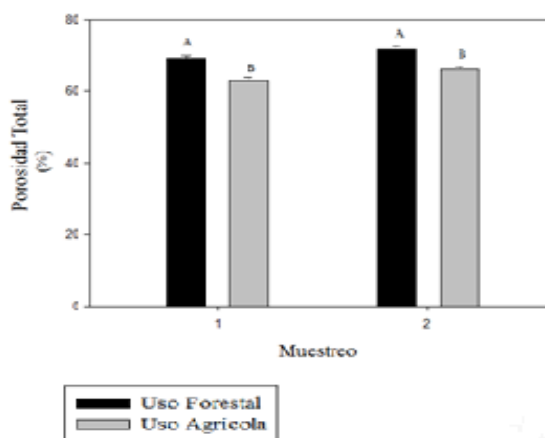
**Figura 11.** Densidad Real



**Figura 12.** Densidad Aparente



**Figura 13.** Humedad Gravimétrica

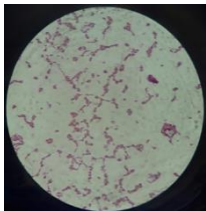
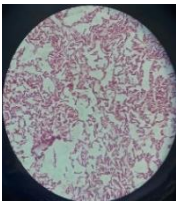
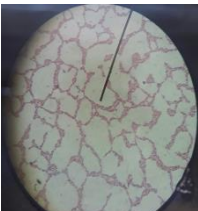
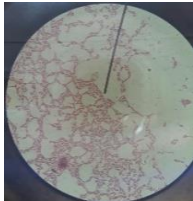
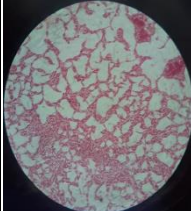
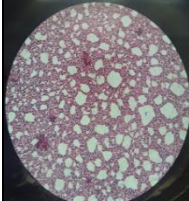


**Figura 14.** Porosidad Total

### Propiedades microbiológicas

Dentro de los resultados que están plasmados en la (Tabla 6), dónde se muestran los diferentes medios a los que se expusieron las muestras y los resultados de su reacción bioquímicas. La determinación taxonómica y el número de colonias por cada uno de los usos (Tabla 5) señalan que, en total se lograron caracterizar cuatro especies microbianas identificadas en el suelo de uso agrícola, agrupadas en nueve colonias y dos para el uso forestal agrupadas en cuatro

**Tabla 5.** Especies microbianas en cada uso

Uso de suelo	Agrícola				Forestal	
Número de colonias	9				4	
Especies	<i>Bacillus cereus.</i>	<i>Bacillus sp.</i>	<i>Azotobacter sp.</i>	<i>Citrobacter sp.</i>	<i>Citrobacter sp.</i>	<i>Bacillus sp.</i>
Fotografía bajo microscopio						

**Tabla 6.** Pruebas Bioquímica

Muestras	Pruebas Bioquímicas									
	MR	VP	SIM	LIA	CS	TSI	UREA	A.N	MIO	GRAM
Colonia #1. Agrícola	+	-	-	KK +	+	AA +	-	Blanco	-	+
Colonia #2. Agrícola	+	-	+	RA +	-	AA +	-	Blanco	-	+
Colonia #3. Agrícola	+	-	+	RA +	-	AA +	-	Blanco	-	-
Colonia #4. Agrícola	+	-	+	KK +	-	AA +	-	Blanco	-	+
Colonia #5. Agrícola	+	-	+	KK +	+	AA +	-	Blanco	-	-
Colonia #6. Agrícola	+	-	+	KA -	+	AA +	+/-	Blanco	+	+
Colonia #7. Agrícola	+	-	+	RA +	-	AA +	-	Blanco	-	+
Colonia #8. Agrícola	+	-	+	RA +	+	AA +	-	Blanco	-	+
Colonia #9. Agrícola	+	-	+	KA -	+	AA +	-	Blanco	-	-
Colonia #10. Forestal	-	-	+	KK +	-	KA -	-	Blanco	-	-
Colonia #11. Forestal	+	-	+	KA -	+	KK +	-	Blanco	-	-
Colonia #12. Forestal	+	-	+	RA +	-	KA -	-	Blanco	-	+
Colonia #13. Forestal	+	-	-	KK +	-	KA -	+	Blanco	-	-

Dentro de la determinación taxonómica que se realizó a partir de las pruebas bioquímicas para determinar las distintas especies que habitaban en las colonias formadoras de los dos usos de suelo, se denotó una diferencia marcada en la cantidad de colonias que se pudieron diferenciar siendo mayor para el uso agrícola (9 colonias) ; que se relaciona directamente con la fertilización en base a heces de cuyes que se le ha aplicado al cultivo permanentemente durante todo el tiempo de explotación y al encalamiento implementado a ese uso que busca principalmente neutralizar el pH, lo que está reflejado en los resultados de esta variable en el uso agrícola (7.34 ). Según Zapata (2002), el Calcio (Ca) aplicado dentro del proceso de encalamiento es importante en las bacterias, además la disminución de la vegetación en el uso agrícola en los primeros horizontes con respecto al de uso forestal hace que la incidencia del sol llegue directamente, aumentando la temperatura y rapidez de la reproducción del tipo de bacterias encontradas en el análisis (Osorio, 2005).

Una de las 4 especies microbiológicas encontradas en el suelo agrícola fue *Bacillus Cereus* sp, la cual forma esporas resistentes a condiciones adversas del medio, como altas temperaturas, deshidratación y radiación, concordando bastante con las condiciones del suelo de uso agrícola estudiado (Sánchez *et al.*, 2016). A pesar de que hubiese sido posible encontrar esta especie en los dos usos de suelo, sólo se registró prueba de ella en el uso agrícola ya que es más frecuente encontrar el organismo en superficies con presencia de productos agrícolas debido a que la facultad para formar esporas garantiza la supervivencia a través de las fases de tratamiento de toda clase de alimentos (González *et al*, 2014). De igual forma los miembros de la especie *Azotobacter* sp solo fueron evidenciados en el uso agrícola ya que son frecuentes en suelos y aguas neutras o alcalinos (Laura & Liliana, 2015), tal cual como es la condición de pH de este uso.

A diferencia de las especies *Bacillus* sp y *citrobacter* sp, que fueron evidenciadas en las muestras de los dos usos debido a que esta especie de bacterias tienen la ventaja de poseer diversos mecanismos para asegurar su supervivencia ante diferentes condiciones del medio. Son hábiles en la formación de endosporas altamente resistentes, lo que les da una ventaja competitiva muy importante en un ambiente como el suelo (Orberá *et al.*, 2005).

**Análisis de cromatografía de gases****Tabla 7.** Resultados Pruebas de Cromatografía de gases.

Uso		Área de la cámara (m <sup>2</sup> )	Kg.día <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> de CH <sub>4</sub>	Kg.día <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> de CO <sub>2</sub>	t-Test
Forestal	Muestra 1 (A1)	0,1	0,09	18	A1 - A2 = sd; A1 - B1 =*
	Muestra 2 (A2)	0,1	0,06	19	A1 - A2 = sd; A2 - B2 =*
	Promedio (A)	0,1	0,08	18,5	A-B = *
Agrícola	Muestra 1 (B1)	0,1	0,15	41	B1 - B2 = sd; A1 - B1 =*
	Muestra 2 (B2)	0,1	0,12	43	B1 - B2 = sd; A2 - B2 =*
	Promedio (B)	0,1	0,135	42	A-B = *

\*(p < 0,05); sd, sin diferencia (p > 0,05).

Según los valores de cuantificación de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> (Tabla 7), es evidente que el uso agrícola emite mayor cantidad de GEI en comparación al uso forestal, según Mendiara (2012) el cambio de uso es la fuerza motriz que determina el papel fuente o sumidero de algunos gases de efecto invernadero, dada la modificación de las condiciones naturales del sistema edáfico; propiedades químicas como el pH se vieron afectados por procesos de encalado que según (Primavesi *et al.*, 2017) las emisiones de CO<sub>2</sub> están relacionadas con la aplicación de cal, liberando C a la atmósfera cuando se elimina el carbonato de calcio de los depósitos de piedra caliza y de dolomita, y se aplica a los suelos donde el ión carbonato evoluciona a CO<sub>2</sub> y es finalmente emitido a la atmosfera.

Propiedades físicas, como la densidad aparente y en consecuencia la porosidad fueron fuertemente alteradas a raíz del cambio de uso, donde el deterioro de la porosidad producto de la disminución de MO y la compactación (de 70 a 64 %) afecta directamente la cantidad de vías de acceso de agua y aire dentro del sistema edáfico; Mendiara (2012) afirma que los diferentes gases generados se almacenan en el espacio poroso del suelo y se van liberando en mayor o menor cuantía según las características del mismo, desde la superficie del suelo hacia la atmósfera mediante un proceso de difusión entre zonas del suelo con diferente concentración (Primavesi *et al.*, 2017). En consecuencia al poseer el uso agrícola un

porcentaje menor de espacio poroso no cuenta con la misma capacidad física del uso forestal para almacenar los GEI, ni de capturarlos de la atmósfera.

El CO<sub>2</sub> secuestrado por las plantas es el resultado de las diferencias entre el CO<sub>2</sub> atmosférico absorbido durante el proceso de la fotosíntesis y el CO<sub>2</sub> emitido por la planta durante la respiración que es consecuencia de la descomposición; entonces una parte del carbono es devuelto a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>, mientras que otra se transforma en otros compuestos más sencillos o se almacena en las propias estructuras microbianas (Mendiara, 2012). Dentro de este proceso el CO<sub>2</sub> es capturado en la fotosíntesis y se queda en las estructuras vegetales en forma de carbono.

En consecuencia es válido afirmar que los bosques actúan como sumideros, en comparación a los cultivos ya que almacenan grandes cantidades de carbono durante periodos prolongados en sus tejidos, al incrementar su biomasa anualmente debido al crecimiento (Montero y Peinado, 2005). En comparación a las actividades agrícolas que registraron la mayor proporción en las emisiones totales de GEI en Colombia con una participación de 38,1% (68.566 Gg CO<sub>2</sub> eq) (IDEAM, 2012), prueba de ello se muestra en los valores superiores de emisión de CO<sub>2</sub> en el uso agrícola con un promedio de 42 Kg.día<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> en comparación al del forestal 18,5 Kg.día<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>, capturando más del 50% de CO<sub>2</sub> que el área cultivada.

El carbono orgánico (C.O) que hace parte de las estructuras vegetales posteriormente va a terminar en el suelo por procesos de descomposición; en consecuencia un suelo con cobertura vegetal boscosa tendrá más contenido de C.O (6,23%) en comparación al uso agrícola (2,49%.); la capacidad del suelo para almacenar C.O es importante debido al material vegetal acumulado en descomposición, pasando a denominarse C del humus, que repercute directamente en la cantidad de M.O disponible en el suelo (Montero y Peinado, 2005). La presencia de M.O y su descomposición es una variable determinante en la cantidad de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> que se generan al interior de cada uso por lo que la diferencia entre los valores promedio van desde 10,74 % para el uso forestal y 4.3 % en el agrícola son una

fuerte evidencia de los resultados en las cantidades de gases generados y posteriormente emitidos.

En términos generales, se calcula que a nivel mundial la cantidad de metano antropogénico producido alcanza los 320 millones de toneladas de metano/año (Primavesi *et al.*, 2010) emitidos a razón de que el CH<sub>4</sub> es producto del metabolismo de los microorganismos al digerir la materia orgánica en ausencia de oxígeno (Pajares y Souza, 2013). El CH<sub>4</sub> es un producto de la degradación en condiciones anaeróbicas, el almacenamiento y manejo de estiércol también es causante de emisiones de este gas por el tipo de bacterias que lo degradan, en este sentido a la fertilización en base a heces de cuyes que durante años se le ha aplicado al uso de suelo agrícola, se le puede atribuir los valores más altos de emisión de CH<sub>4</sub> que se obtuvieron en este uso con un promedio de 0,135 Kg.día<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> a diferencia de los valores del uso forestal que fueron en promedio de 0,08 Kg.día<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>; aunque los resultados entre un uso y otro son significativamente menores dado que los suelos forestales representan un importante sumidero global de CH<sub>4</sub>; la emisión causada por el uso forestal se atribuye a la descomposición de materia orgánica y a la humedad, según Dutaur y Verchot (2007); las bacterias metanógenicas en ambientes húmedos son más efectivas a razón de que en los meses de lluvia se encontraron valores más altos de emisión de este gas en los dos usos: 0,09 Kg.día<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> como valor máximo del uso forestal y 0,15 Kg.día<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> del uso agrícola.

Además de la afectación por el cambio de uso en las propiedades físicas y químicas del suelo como variables importantes que determinan la emisión de gases, los protagonistas de la respiración edáfica son los microorganismos que al igual se ven alterados por las condiciones físico-químicas en las que se desarrollen; al existir mayor variedad y actividad microbiológica en un uso de suelo que no cuenta con las propiedades físicas y químicas naturales ocasiona que pierda su capacidad natural de absorción de gases y se emitan en mayor cuantía (Pajares y Souza, 2013).



Cómo es el caso del uso de suelo agrícola en dónde se evidenció mayor cantidad de colonias diferenciadas entre ellas, ya que se alude a que cuando los materiales orgánicos son aplicados al suelo (fertilización) la actividad microbial de éste se incrementa. Una de las especies identificadas en este uso corresponde a *Azotobacter sp* la cual según Ravikumar *et al*, (2014) presentan tasas de respiración extraordinariamente elevadas, que superan en mucho las de las demás bacterias aeróbicas y son muy comunes en coberturas que provinieron de sitios de desmonte con 3 y 4 años de siembra directa, razón por la cual esta especie solo fue evidenciada en el uso agrícola que al lado de bacterias como *Bacillus sp* que se reconocen como bacterias promotoras del crecimiento vegetal, y asociadas por la producción de una amplia gama de compuestos con actividad fungicida o fungistática; esta misma especie también fue evidenciada en el uso forestal ya que es directamente asociada a suelos con pH ácidos por la alta disposición de C existente (Patel *et al.*, 2012). La segunda especie que se encontró en los usos fue *Citrobacter sp* que se caracterizan por ser fermentadoras de glucosa con o sin producción de gas puede generar un metabolismo oxidativo o fermentativo dependiendo la disponibilidad de O<sub>2</sub>.

## CONCLUSIONES

La deforestación a favor de actividades intensivas agrícolas, ocasiona la pérdida de cobertura vegetal que repercute en la alteración de propiedades físico-químicas del sustrato, alterando el equilibrio del sistema edáfico que incide en la dinámica de la micro biota, disminuyendo su capacidad como sumidero y el aumento de emisión de GEI en el uso agrícola (0,135 Kg.ha.día CH<sub>4</sub>, 42 Kg.ha.día de CO<sub>2</sub>) en comparación a uso forestal (0,08 Kg.ha.día CH<sub>4</sub>, 18,5 Kg.ha.día de CO<sub>2</sub>)

La estimación de la respiración del suelo brinda información sobre la dinámica de microorganismos identificados como: *Azotobacter sp*, *Bacillus sp*, *Citrobacter sp*, *Bacillus Cereus sp* y por lo tanto, de los procesos metabólicos que en él se desarrollan; tales procesos varían en función de factores biofísicos del suelo y del uso de la tierra.

Los ecosistemas del suelo actúan como fuentes de captura y/o emisión de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, dependiendo del balance de insumos y salidas, que están condicionadas por diferentes

procesos que influyen en las emisiones; como la respiración edáfica, la erosión del suelo y el cambio del uso de la tierra que ocasiona la modificación de sus propiedades físico-químicas hasta en un 50%.

## REFERENCIAS

- Adams, F. (1978). Liming and fertilization of Ultisols and Oxisols. *ANDREW, CS & KAMPRATI-!, Ei., cd. Mineral nutrition of legumes ia tropical and subtropical soils. Melbourne, Australia, CSIRO, 1978. p, 377.*
- Acosta, D., García, J., Gonzáles, H. (2017). El método del hidrómetro: base teórica para su empleo en la determinación de la distribución del tamaño de partículas de suelo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(3): 19-24.
- Berberoglu, S. & A. Akin (2009). Assessing different remote sensing techniques to detect land use/cover changes in the eastern Mediterranean. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(1), 46-53.
- Berlanga, C., García, R., López, J., & Ruiz, A. (2010). Patrones de cambio de coberturas y usos del suelo en la región costa norte de Nayarit (1973–2000). *Investigaciones geográficas*, (72), 7-22.
- Bermejo, I. (2010). Agrícola como sector con más emisiones de efecto invernadero a escala mundial. Área de Agroecología de Ecologistas en Acción. *Revista El Ecologista*. N° 67. Recuperado de: <https://www.ecologistasenaccion.org/?p=19945>
- Bocco, G., Mendoza, M., & Masera, O. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones geográficas*, (44), 18-36.
- Botta G., Jorajuría, D., Rosatto, H., & Ferrero, C. (2003). Perdida de la compactación de un suelo bajo siembra directa. *Agro-Ciencia*. 19: 107-113.

- 25 Enríquez, S. & Goyes, V.- Evaluación de la emisión de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> producto del cambio de uso.
- Chimner, R.A. & J.M. Karberg. (2008). Longterm carbon accumulation in two tropical mountains peatlands, Andes Mountains, Ecuador. *Mires and Peat* 3: 1-10.
- Dörner, J. y Horn, R. (2015). Anisotropy of pore functions in structured Stagnic Luvisols in the Weichselien moraine region in N Germany. *J. Plant. Nutr. Soil Sci.* 169: 213-220.
- Dutaur L, Verchot LV. (2007). A global inventory of the soil CH<sub>4</sub> sink. *Glob. Biogeochem. CY.* 21:1944–9224.
- Dec, D., Dorner, J., Becker-Fazekas, O. Y Horn, R. (2008). Effect of bulk density on hydraulic properties of homogenized and structured soils. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 8 (1), 1-13.
- Hernández, S. E., & Puentes, C. A. M. (2017). Estudio exploratorio de la microbiota edáfica en el Centro de Investigación y Educación Ambiental La Tribuna, Neiva-Huila. *Ingeniería y Región*, 18, 53-64.
- Orberá Ratón, T., Pérez Portuondo, I., Ferrer Salas, D., Cortés Ramos, N., & González Giro, Z. (2005). Aislamiento de cepas del genero bacillus sp. con potencialidades para la bioprotección y la estimulación del crecimiento vegetal. *Revista Cubana de Química*, 17(1).
- Hartge, R., & Horn, R. (2009). Die physikalische Untersuchung von Böden. Praxis Messmethoden Auswertung. 4. vollst. Überarbeitete Auflage.
- Hernández, J. (2014). Captura de Carbono en los suelos. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Recuperada de <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n2/e4.html>.
- Hernández, J., González, F., Farfán, L., & Cornejo, V. (2016). Cambio de cobertura vegetal en la región de Bahía de Banderas, México. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1): 7-16. DOI: 10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.57709

- 26 Enríquez, S. & Goyes, V.- Evaluación de la emisión de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> producto del cambio de uso.
- Hofstede R, Groenendijk P, Coppus R, Fehse J. & Sevink J (2002). Impact of Pine Plantations on Soils and Vegetation in the Ecuadorian High Andes. *Mt Res Dev.* 22 (2): 159-167.
- Ibañez, J. (2006). Textura del Suelo y Propiedades Hídricas. Consejo Superior de Investigaciones científicas (CSIC). Madrid, España. Recuperado de: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/07/05/33887>.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2013). Evaluación del riesgo agroclimático por sectores. Apoyo a la Agenda colombiana de adaptación al cambio climático. Contrato de Cooperación CO- T1150.
- Patiño, N. (2016). Clasificación de la cobertura de la tierra en el suelo rural del municipio de Pupiales–Nariño mediante la aplicación de herramientas SIG.
- Kutílek, M., Jendele, L., & Panayiotopoulos, K. P. (2006). The influence of uniaxial compression upon pore size distribution in bi-modal soils. *Soil and Tillage Research*, 86(1), 27-37.
- Lambin E. F. & H. J. Geist (2007), "Causes of land–use and land cover change", Encyclopedia of Earth, Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment, Washington D. C.
- Méndez, J., Haller, V., Gónzales, J., Gálvis, A., Cruz, S., & Cortés, F. (2005). Cambios en las propiedades físicas del suelo a través del tiempo en los sistemas de maíz bajo temporal y mango bajo riego en los suelos del estado de Campeche. *Universidad y Ciencia.* 22 (2):175-189.
- Mendiara Co, S. (2012). Efecto de los usos del suelo en la emisión de dióxido de carbono del suelo a la atmósfera en un agroecosistema semiárido del Valle del Ebro.
- Pérez, V., & Paúl, G. (2017). *Análisis de riesgo de plagas de semillas y frutos de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) para siembra e industria, originarios de Colombia* (Bachelor's thesis, Quito: UCE).

- 27 Enríquez, S. & Goyes, V.- Evaluación de la emisión de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> producto del cambio de uso.
- Montero, G. y Peinado, R. (2005). Productores de Biomasa y Fijación de CO<sub>2</sub> por los Bosques Españoles. Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. 274p.
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments*. John wiley & sons. 630p.
- Muñoz, C., Paulino, L., Vera, J., & Zagal, E. (2011). CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from an Andisol in Chile under a no-till system using non-fixed closed chambers. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 71(2), 275-282.
- Osorio, W. (2005). Función de las enmiendas orgánicas en el manejo de la fertilidad del suelo.. *Suelos ecuatoriales (Colombia)*.(, 35(1), 52-58.
- Pajares, S. & Souza, V. (2013). Los microorganismos como componentes imprescindibles de los ecosistemas. México. *R. Microbial Ecology*. 64: 346-358
- Porta Casanellas, J., López-Acevedo Reguerín, M., & Roquero de Laburu, C. (2003). Edafología: para la agricultura y el medio ambiente.
- González, R. A. C., Díaz, J. T., Cely, O. A. C., Álvarez, C. M. R., & Lozano, M. R. V. (2014). La habitabilidad como variable de diseño en edificaciones orientadas a la sostenibilidad. *Revista de arquitectura*, (16), 114-125.
- Primavesi O, Berchielli T.T., Pedreira M.D., Frighetto R. y Lima M.A. 2017. Effect of tannin levels in sorghum silage and concentrate supplementation on apparent digestibility and methane emission in beef cattle. *Anim. Feed Sci.Technol.* 135:236–248.
- Primavesi O, Shiraishi RT, Dos Santos M, Aparecida M, Teresinha T, Franklin P. 2010. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesq agropec bras*, 39(3): 277-283
- Patel, Devendra; Archana, Gattupalli and Kumar, N. (2012). Variation in the nature of organic acid secretion and mineral phosphate solubilization by *Citrobacter* sp. DHRSS in the presence of different sugars. *Current microbiology*, 56(2), 168-174.

- 28 Enríquez, S. & Goyes, V.- Evaluación de la emisión de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> producto del cambio de uso.
- Romanyá, J. A., Rovira, P., & Vallejo, R. (2007). Análisis del carbono en los suelos agrícolas de España. Aspectos relevantes en relación a la reconversión a la agricultura ecológica en el ámbito mediterráneo. *Revista Ecosistemas*, 16(1).
- Rovira, P., Vallejo, V.R. (2003). Physical protection and biochemical quality of organic matter in mediterranean calcareous forest soils: a density fractionation approach. *Soil Biol. Biochem.* 35: 245-261.
- Ravikumar S., Shanthi S., Kalaiaarasi A., & Sumaya M. (2014). The biofertilizer effect of halophilic phosphate solubilising bacteria on *Oryza sativa*. *Middle East J Sci Res.* 19(10):1406-1411.
- Rodriguez, M. & Moliner, A. (20015). Prácticas de Edafología. Material para el análisis de suelo. Recuperado de: <file:///C:/Users/Ambiental/Downloads/Dialnet-PracticasDeEdafologia-580696.pdf>
- Sánchez, J; Correa, M; Castañeda, L. (2016). Características de un *Bacillus Cereus*. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 34(2): 230- 242
- Laura, C., & Liliana, V. (2015). Efecto de la concentración del Biofertilizante *Rhizobium* sp. En el redimiento.
- Sparks, D. (2003) *Environmental Soil Chemistry*. Second Edition. California, US: Academic Press, 157-205 pp.
- Hernández, A. M., Galván, S. P., Arrázola, G., & Osorio, J. (2016). Evaluación de las condiciones de proceso sobre las propiedades funcionales de harina de plátano. *Agronomía Colombiana*, 34(1Supl), S560-S562.
- Velásquez, C. (2005). Guía para interpretar el análisis químico de suelo y planta. Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Suelos. Chapingo, México.
- Walkley, A & IA Black. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38

- 29 Enríquez, S. & Goyes, V.- Evaluación de la emisión de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> producto del cambio de uso.
- Wilding LP, Oleschko K (1994) Micromorphological indicators of antropogenic effects on soils. 15 th World Congress of soil science. 6: 205-223
- Zapata, R. (2002). Química de los procesos pedogenéticos del suelo. *Medellín: Universidad Nacional de Colombia.*